

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-280044

(43)Date of publication of application : 04.10.1994

---

(51)Int.Cl.

C23C 26/00

---

(21)Application number : 05-089340

(71)Applicant : RES DEV CORP OF JAPAN

(22)Date of filing : 24.03.1993

(72)Inventor : SAITO NAGAO  
MORI NAOTAKE

---

**(54) SURFACE TREATMENT METHOD AND DEVICE BY ELECTRIC DISCHARGE MACHINING**

**(57)Abstract:**

**PURPOSE:** To provide a surface treatment technique by electric discharge machining capable of forming a smooth and uniform coating layer even in the case of a thin surface coating layer.

**CONSTITUTION:** A gas which does not form toxic gases by electric discharge is supplied together with a working liquid between working electrodes, or, the current which can suppress the rise of a discharge current is passed to decrease the discharge trace current density at the time of depositing a conductive or nonconductive material by pulse electric discharge machining on the surface of a material to be surface treated. The splashing of the deposited layer induced by the explosive pressure generated by the discharge is thereby suppressed and the smooth and uniform surface coating layer is obtd. Argon, helium, carbon dioxide or gaseous nitrogen is used as the gas which does not form the toxic gases by the discharge if the working liquid contains petroleum, etc. Air is used if the working liquid consists essentially of water. The electric discharge machining may be executed as a primary operation or may be executed as a secondary operation after the surface of the material to be treated is coated with the nonconductive or conductive material as the primary operation.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-280044

(43)公開日 平成6年(1994)10月4日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

C 2 3 C 26/00

識別記号

D

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数10 F D (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平5-89340

(22)出願日 平成5年(1993)3月24日

(71)出願人 390014535

新技術事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72)発明者 齋藤長男

愛知県春日井市岩成台9丁目12番地の12

(72)発明者 毛利尚武

愛知県名古屋市中天白区八事石坂661番地51号

(74)代理人 弁理士 中村 尚

(54)【発明の名称】 放電加工による表面処理方法及び装置

(57)【要約】

【目的】 50  $\mu$ m以下の如く薄い表面被覆層であっても、平滑にして均一な被覆層を形成し得る放電加工による表面処理技術を提供する。

【構成】 導電性又は非導電性材料を被表面処理材料の表面にパルス放電加工により堆積させる表面処理に際して、①放電によって有毒ガスを生成しない気体を加工液と共に加工極間に供給することにより、或いは②放電電流の立上りを抑制し得る電流を流して放電痕電流密度を小さくすることにより、放電による爆発圧力によって起こる堆積層の飛散を抑制して平滑な且つ均一の表面被覆層を得ることを特徴としている。放電によって有毒ガスを生成しない気体として、加工液が石油などを含む場合にはアルゴン、ヘリウム、炭酸ガス又は窒素ガスを用い、加工液が水を主成分とする場合には空気を用いる。この放電加工を一次加工として実施しても、或いは一次加工として非導電性又は導電性材料を被処理材料の表面に被覆した後、二次加工として実施してもよい。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 導電性又は非導電性材料を被表面処理材料の表面にパルス放電加工により堆積させる表面処理に際して、放電によって有毒ガスを生成しない気体を加工液と共に加工極間に供給することにより、放電による爆発圧力によって起こる堆積層の飛散を抑制して平滑な且つ均一の表面被覆層を得ることを特徴とする放電加工による表面処理方法。

【請求項2】 放電によって有毒ガスを生成しない気体として、加工液が石油などを含む場合にはアルゴン、ヘリウム、炭酸ガス又は窒素ガスを用い、加工液が水を主成分とする場合には空気を用いる請求項1に記載の方法。

【請求項3】 導電性又は非導電性材料を被表面処理材料の表面にパルス放電加工により堆積させる表面処理に際して、放電電流の立上りを抑制し得る電流を流して放電痕の電流密度を小さくすることにより、放電による爆発圧力によって起こる堆積層の飛散を抑制して平滑な且つ均一の表面被覆層を得ることを特徴とする放電加工による表面処理方法。

【請求項4】 一次加工として、非導電性又は導電性材料を被処理材料の表面に被覆した後、二次加工として、請求項1又は3に記載の条件でパルス放電加工を行うことを特徴とする表面処理方法。

【請求項5】 一次加工として、請求項1又は3に記載の条件で放電加工を行う請求項4に記載の方法。

【請求項6】 一次加工として、放電析出、溶射又はスラリー塗布により表面被覆を行う請求項3に記載の方法。

【請求項7】 導電性又は非導電性材料を被表面処理材料の表面にパルス放電加工により堆積させる表面処理装置において、放電によって有毒ガスを生成しない気体を加工液と共に加工極間に供給する手段を有していることを特徴とする放電加工による表面処理装置。

【請求項8】 導電性又は非導電性材料を被表面処理材料の表面にパルス放電加工により堆積させる表面処理装置において、放電電流の立上りを抑制し得る電流を流して放電爆発圧力を小さくする放電加工回路を有することを特徴とする放電加工による表面処理装置。

【請求項9】 放電加工回路が、直列にインダクタンスが挿入されている回路である請求項8に記載の装置。

【請求項10】 放電加工回路が、トランジスタ等のスイッチング素子の複数個が接続されている回路である請求項8に記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、放電加工による表面処理技術に関し、より詳しくは、放電による爆発圧力によって起こる堆積層の飛散を抑制して、平滑にして均一な被覆層を形成する表面処理方法及び装置に関し、一次表

面処理として、或いは適当な一次表面処理後の二次表面処理として、導電性材料(例、金属)等からなる被処理材料の上に、耐摩耗性、耐食性或いは低い摩擦係数を与えるための表面処理として適している。

## 【0002】

【従来の技術】 従来より、金属表面に耐摩耗性、耐食性などを与えるための手段として、CVD(化学蒸着)、PVD(真空蒸着)、電着、窒化、電気化学的めっき、無電解めっき等が知られている。

10 【0003】 しかし、CVD、PVDはいずれも、母材の温度を360℃以上、1100℃程度まで上昇してコーティングするため、母材が寸法変化又は硬度低下を生じるという欠点があることは、広く知られている。硬化層も数μmと薄い。また、窒化も、鋼材を500℃程度にまで加熱して処理するという難点がある。

20 【0004】 電着による表面は、母材に析出金属が単に堆積若しくは析出するだけであり、拡散していないため、剥離し易いことは良く知られており、また水素脆性を生ずるなどの欠点がある。電気化学的めっき、無電解めっきの場合も同様である。

30 【0005】 溶射により母材表面に堆積させたものは、多孔質で且つ剥離し易いことは既に知られている。また、これをレーザー光で再熔融させようとしても、入熱がスポットの位置により不均一となり、またビーム進行の境界に条痕を発生するため、美麗な表面を得ることができない。また、レーザー光等では、三次元の加工形状には、構造上、適用困難である。

40 【0006】 また、従来の表面処理法では、母材への拡散が殆ど生じないので、ファインセラミックスなどの拡散しにくい材料を十分な厚さ(例、数10μm~100μm)でコーティングすることは困難である。

## 【0007】

50 【発明が解決しようとする課題】 一方、本発明者は、これらの表面処理法とは異なり、母材の金属材料全体を高温度に保つことにより生ずる寸法変化、母材の硬度(強度)の低下、皮膜剥離等の欠点がなく、しかも十分な厚みで耐食性、耐熱性等々の所望の表面特性を有する強固な被覆層を形成し得る表面処理方法を先に提案した(特願平3-329499号)。これは、まず、金属母材表面に放電析出、蒸着、溶射等の方法により金属、セラミックス等の被覆を形成(一次加工)した後、被覆しようとする材料(例、WC、TiC、TiB<sub>2</sub>、TiN、VCなどの硬質材料及びW、Ti、V、Moなどの金属)を圧粉体として電極形状に成形したものを電極として、被表面処理材料(例、炭素鋼など)の上にパルス放電加工(二次加工)によって移転堆積せしめる方法である。

【0008】 上記提案の方法によれば、放電析出、蒸着、溶射等によって母材表面をコーティング(一次加工)した場合は、付着力が弱く、組成も緻密でないが、液中又は気体中でパルス放電(二次加工)を行うことにより、

微視的に放電点に発生する高温高圧力によって放電点を再熔融及び母材に対して拡散させるので、全体の平均温度を母材の寸法変化や硬度変化を生じる温度まで高めることなく、強固な表面被覆層を形成することができる。

【0009】しかし、この方法は、数回の加工操作を繰り返す必要があり、特に厚い表面被覆層を形成する際には極めて有効であるが、20～50 $\mu\text{m}$ 程度の厚みでよい場合には、1回の一次加工、二次加工のプロセスで表面層の形成を完了するのが好ましい。このようなプロセスに対して、上記方法では、一次加工で堆積したものが二次加工で飛散するため、加工層が一様な厚みに堆積しない場合がある。

【0010】本発明は、先の提案に係る表面処理技術を改善して、50 $\mu\text{m}$ 以下の如く薄い表面被覆層であっても、平滑にして均一な被覆層を形成し得る放電加工による表面処理技術を提供することを目的とするものである。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明者は、先の提案に係る表面処理技術において一次加工で堆積したものが二次加工で飛散する原因について検討した結果、二次加工における放電発生直後の放電圧力が高すぎるために、飛散力を大きくしていることが判明し、そして、放電圧力を緩和し得る効果的な方法を見出し、ここに本発明を完成したものである。

【0012】すなわち、本発明は、導電性又は非導電性材料を被表面処理材料の表面にパルス放電加工により堆積させる表面処理に際して、放電によって有毒ガスを生成しない気体を加工液と共に加工極間に供給することにより、放電による爆発圧力によって起こる堆積層の飛散を抑制して平滑な且つ均一の表面被覆層を得ることを特徴とする放電加工による表面処理方法を要旨としている。

【0013】他の本発明は、導電性又は非導電性材料を被表面処理材料の表面にパルス放電加工により堆積させる表面処理に際して、放電電流の立上りを抑制し得る電流を流して放電痕の電流密度を小さくすることにより、放電による爆発圧力によって起こる堆積層の飛散を抑制して平滑な且つ均一の表面被覆層を得ることを特徴とする放電加工による表面処理方法を要旨としている。

【0014】更に、他の本発明は、導電性又は非導電性材料を被表面処理材料の表面にパルス放電加工により堆積させる表面処理装置において、放電によって有毒ガスを生成しない気体を加工液と共に加工極間に供給する手段を有していることを特徴とする放電加工による表面処理装置を要旨としている。

【0015】更に、他の本発明は、導電性又は非導電性材料を被表面処理材料の表面にパルス放電加工により堆積させる表面処理装置において、放電電流の立上りを抑制し得る電流を流して放電爆発圧力を小さくする放電加

工回路を有することを特徴とする放電加工による表面処理装置を要旨としている。

【0016】

【作用】以下に本発明について更に詳細に説明する。

【0017】前述の如く、本発明の骨子は、要するに、パルス放電加工に際し、①放電極間に気体を混入することによって、放電圧力を緩和して飛散圧力を減少せしめる、或いは、②放電回路に流れる絶縁破壊直後の電流の立ち上がりを抑えて、電流が徐々に増加するように制御することによって、飛散力を減少せしめる、というものである。勿論、①と②を併用できる。

【0018】(1) 放電極間への気体の混入

図1は放電極間に気体を混入する装置を備えたパルス放電加工装置の一例を示している。図中、1は一次加工後の堆積層(例、60～80 $\mu\text{m}$ )、2は被表面処理材料、3は放電加工用電極(例、銅)、4は放電加工パルス電源、5は加工液、6は気体(例、Arガス)投入ポンプ、7は減圧バルブ、8は気体拡散用ノズル、9はサーボ機構を表わしている。

【0019】適当な方法による一次加工によって形成した堆積層に対し、この放電加工装置を用い、アルゴンガスを加工液中に噴射して二次加工を行う。すなわち、アルゴンガスが封入されたポンプ6より減圧バルブ7を通してアルゴンガス拡散用ノズル8により、極間近くに供給する。電極3は通常、サーボ機構により上下動しながら(加工対向時は数秒～10秒、各上下動時間：数秒)加工をしているため、アルゴンガスは極間に拡散され、次の放電は気泡を含んだ液中での加工となる。放電加工液中に気体が混入され極間に供給されるが、これを効果的ならしめるためには、電極を加工方向に近接及び離間させて加工を行う場合に、極間が離れている時間内に加工液が供給されるのが好ましい。

【0020】極間における気体混入加工液の作用は次のとおりである。

【0021】極間が近接すれば放電加工が始まるが、混入気体が存在しているところは、絶縁耐力が液中より大きいので、放電は起こらず、液体だけが存在している個所で放電が発生する。その場合に3つの現象が生じる。

【0022】(イ)液体だけが存在している個所で起こった放電は、周囲が気体で囲まれているため、気体のない時に比べて緩和されて小さい圧力で行われる。そのため、加工速度は減少するが、被加工材料表面に堆積した材料の飛散量は著しく小さくなる。

(ロ)極間の気体は移動するため、次に発生する放電点は、別の箇所に発生し、結局、放電が局所に集中せず分散するため、いわゆるアーク放電の発生がなくなる。すなわち、平滑な加工面となる。

(ハ)この場合に、もしも、油性の放電加工液を用いて気体を混入する場合、油の高温分解によって生じる活性の高い炭素を生じる。そのため、混入する気体として酸

10

20

30

40

50

素、空気を使用すれば一酸化炭素(CO)を生じ、水素ガスを使用すれば炭水化物(C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>)を生じる。したがって、気体としては、Ar、He等の化学的に安定なガスを使用するのが好ましい。勿論、窒素ガスや炭酸ガスも安定に有効に使用できる。

#### 【0023】(2)放電電力の立上りの抑制

放電電力の立上りを抑制する方法としては特に制限されないが、例えば、インダクタンスを放電回路に直列に挿入する方法、及びトランジスタを複数個スイッチング素子として使用する方法などが挙げられる。

【0024】インダクタンスを放電回路に直列に挿入する方法を図2に示す。図3に示すように、インダクタンスを挿入しない場合の電流波形は①のように矩形状となるが、インダクタンスを挿入すれば②のように放電の発生した時点の放電電流は抑えられて小さくなる。

【0025】放電電流の発生時点で電流が大きいと、図4に示すように放電痕の電流密度が高くなり(すなわち、放電痕の直径は、放電初期は小さく、放電時間の経過と共に大きくなるから、立上りの早い電流では電流密度が高くなる)、そのため、放電による爆発圧力が高くなるので、表面の堆積層を吹き飛ばすことになる。したがって、インダクタンス挿入による放電電流の発生時点の放電電流が抑えられると、放電による爆発圧力が減少するので、表面の堆積層を吹き飛ばすようなことが少なくなる。

【0026】インダクタンスを直列に挿入する代わりに、図5に示す如くトランジスタを複数個スイッチング素子として使用する方法も可能である。スイッチングトランジスタを、放電時間の経過と共に順次導通して、図6の(a)のような三角波、或いは(b)のような鋸歯波とするスロープコントロールを行ってもよい。このようなスロープコントロールによっても、インダクタンスを放電回路に直列に挿入する方法と同様の効果が得られ、放電による爆発圧力が減少して、表面の堆積層を吹き飛ばすようなことが少なくなる。

【0027】以上のような条件で、パルス放電を放電加工の手法により液中で加えるが、他の放電加工条件は特に制限されない。例えば、以下の要領で行う。

【0028】パルス放電加工に際しては、消耗しにくい電極(銅)を使用するのが好ましい。なお、二次加工としての放電析出法の場合の電極としては、堆積物に近い組成の電極を使用するのが良く、導電性の粉体(例、WC、TiC、TiB<sub>2</sub>、TiN、VC、或いはW、Ti、V等の金属等の1種又は2種以上及び結合剤としてのCo、Ni等の1種又は2種以上)を圧縮成形又は低温焼結してなる電極の一次加工に対して、二次加工では、例えば、金属材料表面にWCを主体として堆積させた場合、WC-Coを焼結した材料(例、バイトのチップ材料)を電極に用いる。

【0029】放電は、1秒間に数百回から数万回程度で

発生させる。加工面は小さい微視的な放電痕の累積した表面である。放電痕電流密度は、微小な面積であるが、数万A/cm<sup>2</sup>と高く、高温高压を数10μs~1000μs程度の短時間で生ずる。放電点の表面温度は、その材料の沸点程度となり、その点の圧力は数1000kgf/cm<sup>2</sup>となり、溶解した部分は再熔融し、母材に拡散する。放電時間が短時間のため、放電点が直ちに冷却され、母材の平均温度は上昇することがない。

【0030】パルス放電加工の好ましい条件は、電源電圧:60~100V、パルス放電電流値(I<sub>p</sub>):1~100A、パルス幅(τ<sub>p</sub>):5~2000μs、休止時間(τ<sub>r</sub>):5~2000μsである。一般的に、パルス放電電流値I<sub>p</sub>が小さい時、例えば、I<sub>p</sub>=3Aなどではτ<sub>p</sub>=16μs、I<sub>p</sub>が大きい時、例えばI<sub>p</sub>=50Aなどではτ<sub>p</sub>=2000τ<sub>s</sub>のように、I<sub>p</sub>の小さい時はτ<sub>p</sub>も短かく、I<sub>p</sub>の大きい時はτ<sub>p</sub>を長くとする。

【0031】なお、本発明によるパルス放電加工は、それ自身で被表面処理材料の表面を被覆してもよいが、予め、一次加工として、非導電性又は導電性材料を被処理材料の表面に被覆した後、二次加工として行うのが望ましい。

【0032】パルス放電加工を二次加工として行う場合、一次加工法としては適当な方法が可能であり、例えば、溶射、電着、放電析出法、スラリー塗布などが挙げられる。なお、放電析出法とは、本発明者らが先に提案した表面処理法であり(「1991年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集」(1991年3月26日)p.463)、析出すべき導電性材料を圧粉体として成形し、放電加工の電極として用いて加工することにより、相手側金属に圧粉体材料を析出させる方法である。もっとも、これらの堆積物は、母材中に拡散しないため、付着強度が弱い。これらの方法のいずれも可能であるが、後工程として行うパルス放電加工との関係からすれば、放電析出法が好ましい。

【0033】また、被覆材料としては、様々な金属材料又は非金属材料が可能であり、例えば、金属又は合金、非金属元素、セラミックス、炭化物、窒化物、硼化物などである。具体的には、硬質材料として、WC、TiC、TaC、ZrC、SiCなどの炭化物、TiB<sub>2</sub>、ZrB<sub>2</sub>などの硼化物、TiN、ZrNなどの窒化物など(ファインセラミックス)を単体で若しくは焼結助剤を加えた状態で被覆できる。また、W、Moなどの金属材料やAl、Ti、Ni、Cr、Coなどの耐食性材料も利用できる。更に、ダイヤモンド、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の如く、導電性はなくとも、鉄粉、コバルト粉、ニッケル粉、クロム粉、銅粉などの導電性材料と混合して被覆しても良い。要するに、付与させる表面特性の関係で材料を選択すれば良い。

【0034】本発明の表面処理方法によれば、低廉な炭素鋼などの鉄鋼材料等の金属材料の表面に、耐熱性、耐

食性、耐摩耗性、硬度など所望の特性を有する緻密な層を形成することができる。ファインセラミックスのように鋼材の中に拡散しにくい材料であっても、再溶融によって母材に対する拡散と密着性を強固にすることができる。また、Al、Ti、Ni、Cr、Coのように鉄鋼材料に固溶し易い材料でも、パルス放電処理すれば、なお一層強固な表面処理が可能となる。すなわち、放電析出の速度を速くするために大電流を用いて高速放電析出を行う場合、Al、Ti、Ni、Cr、Coのように鉄鋼材料に固溶し易い材料であっても、母材への拡散が不十分であり、また析出状態も凹凸が激しくなるが、パルス放電処理によれば再溶融による拡散が促進される。また、電着や電気めっき法により大電流密度でめっき速度を上げると、荒く密着力の小さいめっき層しか得られないが、パルス放電加工を行うと、密着力の大きい表面層を形成することができる。ダイヤモンド、 $Al_2O_3$ 、 $Si_3N_4$ などの非導電性の硬質材料に鉄粉、コバルト粉、ニッケル粉、クロム粉、銅粉等の導電性金属を混入してコーティングしたものに、パルス放電処理を行うと、導電性金属が再溶融して非導電性硬質材料が強固に母材表面に固着される。

【0035】また、傾斜性を持つ材料を製作することもできる。傾斜性材料とは、例えば、母材を金属材料とし、母材側から次第にファインセラミックスの含有割合が多くなり、材料表面をファインセラミックスの含有割合を著しく高めたような材料である。このような傾斜性材料は、単に金属材料とファインセラミックスとを接合若しくはコーティングした材料に比べ、温度上昇があっても膨張係数の著しい差異による接合面の剪断応力の発生や曲げ応力の発生が少ないため、高温で使用中の破断等が生じにくい。これは、温度上昇による熱膨張が発生しても、応力としては緩和されるためである。

【0036】次に本発明の実施例を示す。

【0037】

【実施例1】

【0038】本例は、気体を混入するパルス放電加工を二次加工法として行った例である。一次加工法並びに二次加工法は以下の条件で行った。なお、母材は炭素鋼(S55C)であり、図1の装置を使用した。

【0039】一次加工(放電析出)条件：

電極：圧粉体電極(WC：Co=8：2)、パルス放電電流値(I<sub>p</sub>)：25A(電極マイナス)、パルス幅(τ<sub>p</sub>)：16μs、休止時間(τ<sub>r</sub>)：512μs、加工時間：15分。

【0040】二次加工(パルス放電加工)条件：

電極：銅電極(16mmφ)、パルス放電電流値(I<sub>p</sub>)：15A(電極マイナス)、パルス幅(τ<sub>p</sub>)：1024μs、休止時間(τ<sub>r</sub>)：1024μs、加工時間：15分、気体の種類：アルゴンガス、気体噴射圧力：0.1kg/cm<sup>2</sup>。

【0041】その結果、二次加工を一度行うだけで、加

工後の表面硬化層の断面厚さが約50μmとなり、マイクロビッカース硬度も1800程度と十分な硬度を示した。一次加工で60～80μm程度の厚みであったものが50μm程度の均一な表面硬化層となっていることは、二次加工による飛散がアルゴンガスの混入によって減少されていると考えられる。同一箇所の加工断面の電子顕微鏡写真を図7～9に示す。図7は倍率50倍の場合、図8は倍率200倍の場合、図9は倍率300倍の場合を示す。表面硬化層が厚くても平滑で均一であることがわかる。

【0042】

【実施例2】

【0043】本例は、放電電力の立上りを抑えるパルス放電加工を二次加工法として行った例である。一次加工法並びに二次加工法は以下の条件で行った。なお、母材は炭素鋼(S55C)であり、図2に示す回路を使用した。

【0044】一次加工(放電析出)条件：

電極：圧粉体電極(WC：Co=8：2)、パルス放電電流値(I<sub>p</sub>)：25A(電極マイナス)、パルス幅(τ<sub>p</sub>)：16μs、休止時間(τ<sub>r</sub>)：512μs、加工時間：15分。

【0045】二次加工(パルス放電加工)条件：

電極：銅電極(16mmφ)、パルス放電電流値(I<sub>p</sub>)：10A(電極プラス)、パルス幅(τ<sub>p</sub>)：1024μs、休止時間(τ<sub>r</sub>)：1024μs、加工時間：4.5分、放電回路の構成：図2(コイル直径36mm、22ターン、インダクタンスL≒12μH)。

【0046】加工断面の顕微鏡写真を図10に示す。1回の加工(二次加工)で厚さ30μm程度の緻密な加工層(WC-Co)が得られていることがわかる。図11は倍率を1100倍にて観察した表面層を示す写真であり、加工層中に硬質粒子が様に分散していることがわかる。図12は加工層のマイクロビッカース硬度(荷重10g)の分布状態を示す図で、表面から約25μmがmHv1710とWC-Co焼結体として十分な硬度を示している。図13は加工表面のX線回折結果を示し、WCが強く析出していることがわかる。挿入インダクタンスの大きさは4～200μH程度で良好な結果が得られる。

【0047】なお、多数のスイッチング素子を使用して電流波形制御を行う場合も、上記実施例2(インダクタンス挿入)とほぼ同じ結果が得られることを確認した。しかも、スイッチング素子による方法は、電流の立上り傾斜の度合を任意に容易に変えられるので(インダクタンス挿入の場合は異なるインダクタンスを結線し直す必要がある)、工業的に有利である。

【0048】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、放電圧力を緩和する条件でパルス放電加工を行うので、被覆層の飛散力が減少でき、したがって、50μm以下

の如く薄い表面被覆層であっても、平滑にして均一な被覆層を形成することが可能となる。特に適当な一次加工後に二次加工として行う場合に適している。

【図面の簡単な説明】

【図1】 気体混入によるパルス放電加工装置の一例を示す図である。

【図2】 インダクタンス挿入によるパルス放電加工装置の一例を示す図である。

【図3】 図2の回路で得られる電流波形を示す図である。

【図4】 1発の放電痕の面積の増大と放電痕電流密度の変化を示す図である。

【図5】 スwitchング素子挿入によるパルス放電加工制御回路の一例を示す図である。

【図6】 (a)、(b)は図5の回路で得られる電流波形を示す図である。

【図7】 実施例1で得られた加工層の加工断面(金属組織)の電子顕微鏡写真(倍率50)である。

【図8】 実施例1で得られた加工層の加工断面(金属組織)の電子顕微鏡写真(倍率200)である。

\* 【図9】 実施例1で得られた加工層の加工断面(金属組織)の電子顕微鏡写真(倍率300)である。

【図10】 実施例2で得られた加工層の加工断面(金属組織)の写真である。

【図11】 実施例2で得られた加工層の加工断面(金属組織)の写真(×1100)である。

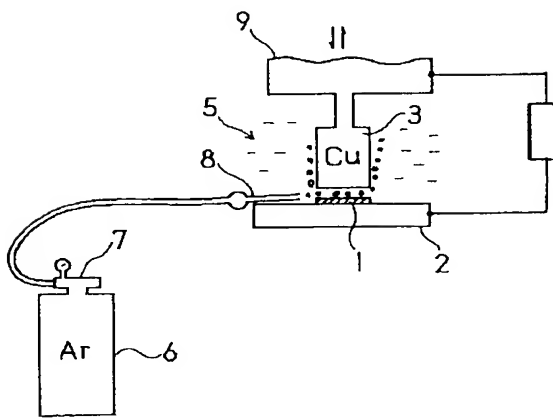
【図12】 実施例2で得られた加工層の加工断面の硬度分布を示す図である。

【図13】 実施例2で得られた加工層の加工表面のX線回折図である。

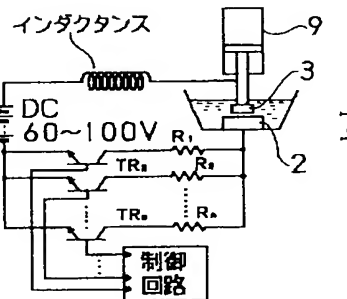
【符号の説明】

- 1 一次加工後の堆積層
- 2 被表面処理材料
- 3 放電加工用電極
- 4 放電加工パルス電源
- 5 加工液
- 6 気体投入ポンプ
- 7 減圧バルブ
- 8 気体拡散用ノズル
- 9 サーボ機構

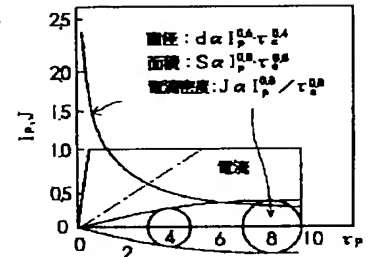
【図1】



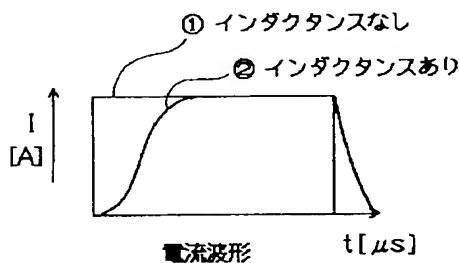
【図2】



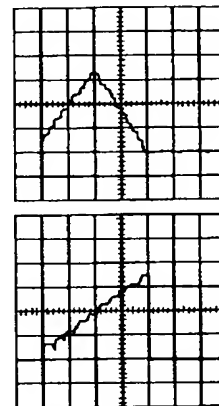
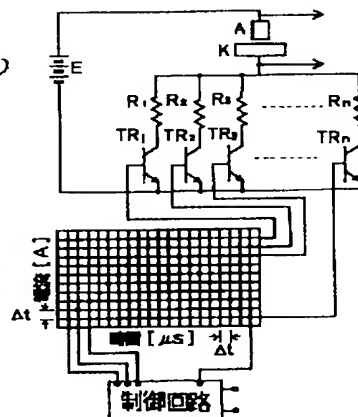
【図4】



【図3】



【図5】

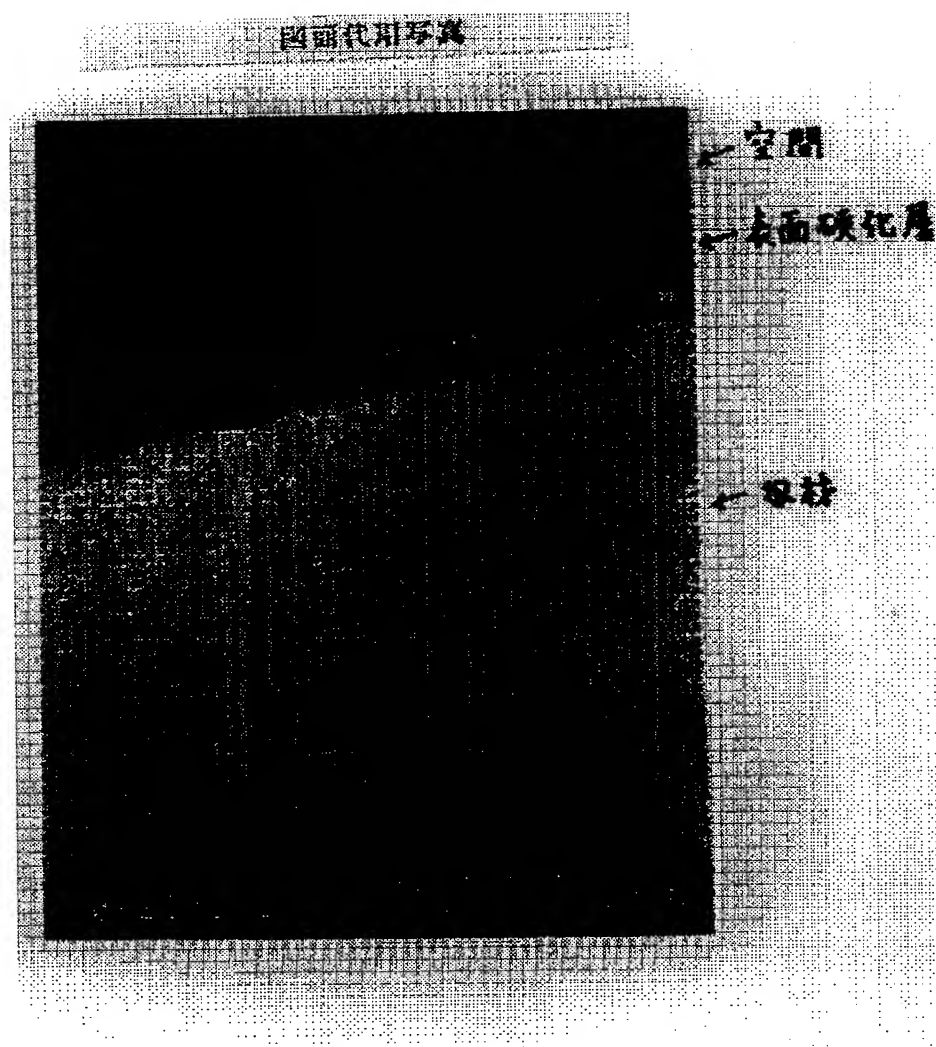


(a)

(b)

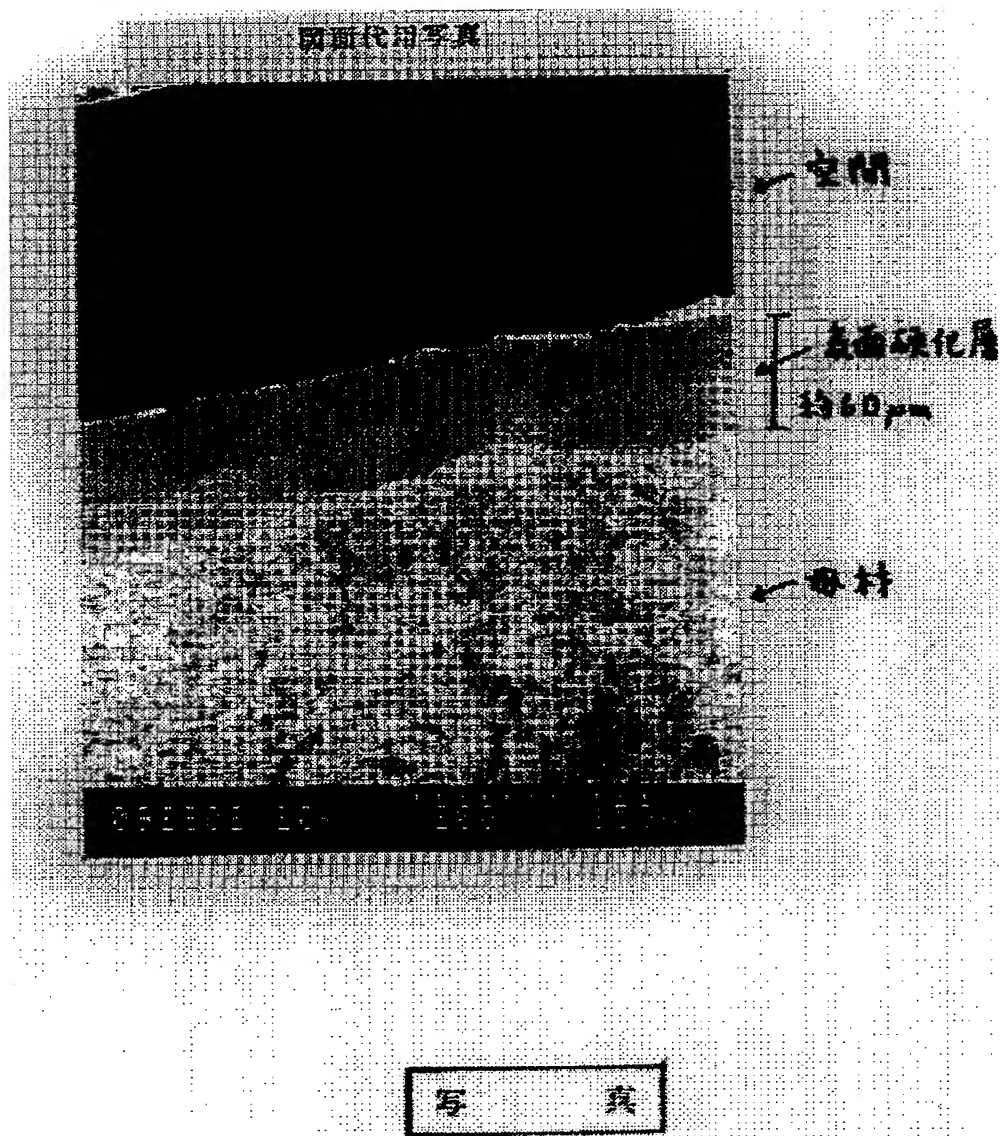
(50μA/div 10A/div)

【图 7】

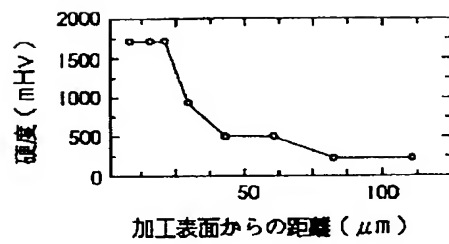




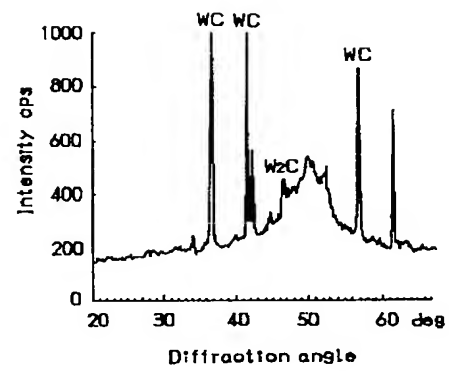
【図8】



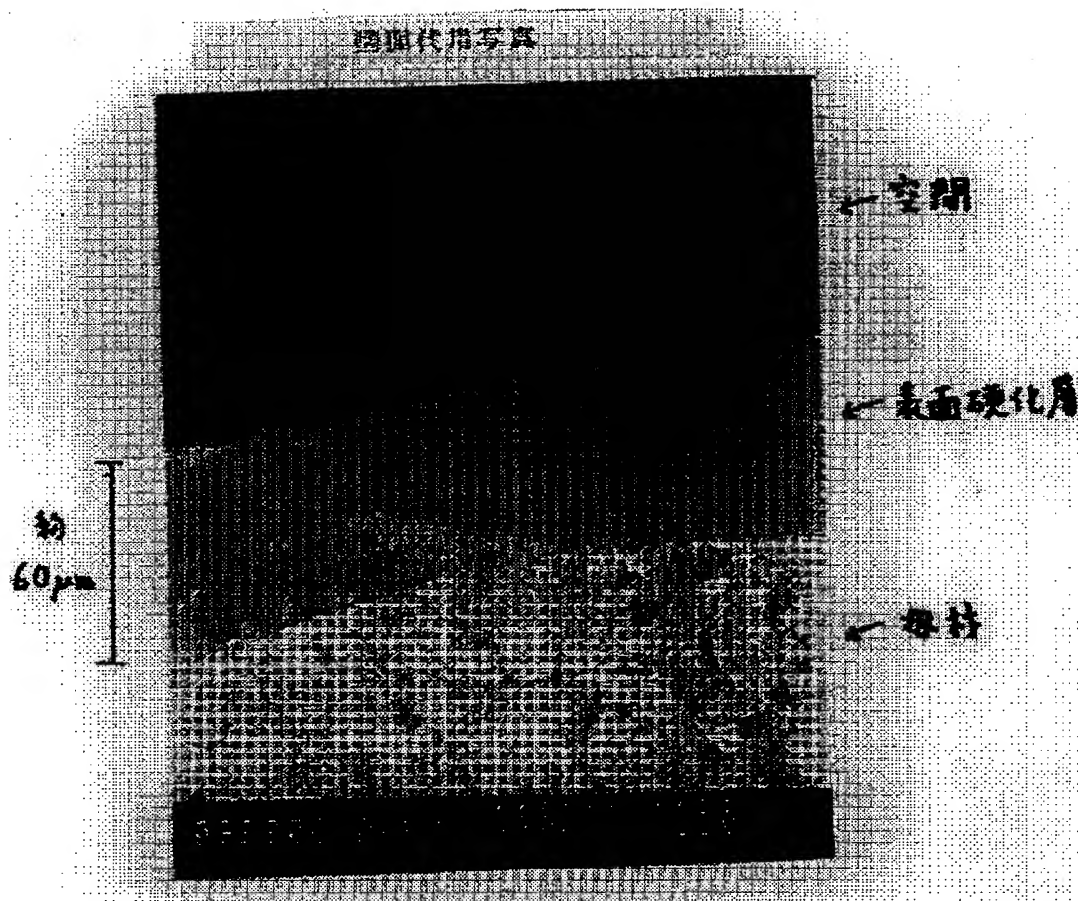
【図12】



【図13】

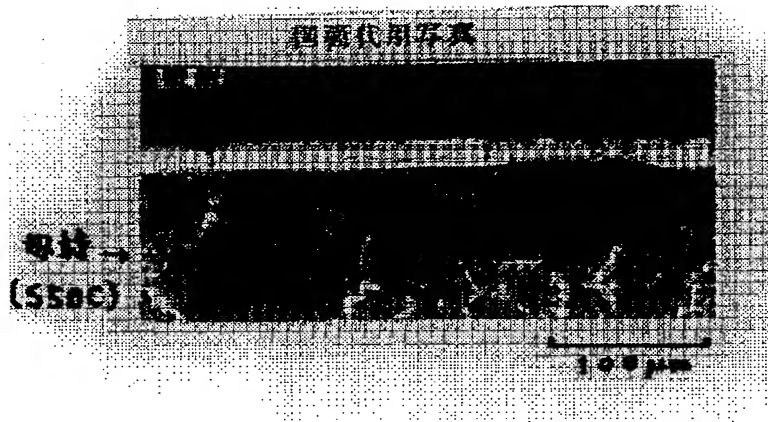


【図9】



写真

【図10】



【図11】

